

Компьютерный анализ эффективных свойств пенообразных пьезоэлектрических материалов

А.В. Наседкин, А.И. Волков, А.С. Корниевский, Я.В. Толмачева

Южный федеральный университет, 344006 Ростов-на-Дону, Россия

e-mail: nasedkin@math.sfedu.ru

В настоящей работе средствами моделирования пакета ANSYS изучаются пенообразные структуры двух видов: трехмерные и условно двумерные с учетом толщины. Твердотельные трехмерные структуры создавались в форме массивов с регулярными и с нерегулярными отдельными ячейками Гибсона-Эшби. Твердотельные условно двумерные структуры формировались в виде регулярных двумерных ячеек канонических форм с толщиной, транслируемые в плоскости, перпендикулярной толщине.

Все пенообразные структуры исследовались по единообразной методологии. Из построенных твердотельных моделей генерировались конечно-элементные сетки, составленные первоначально из диэлектрических элементов. Для этих сеток моделировался процесс поляризации в линейном приближении [1]. Для этого в направлении, перпендикулярном предполагаемым параллельно расположенным электродам, подавалось электрическое поле, достаточное для поляризации пьезокерамики. Из решения данной задачи электростатики определялось векторное поле поляризации. Векторы поляризации, вычисленные в центральных точках отдельных конечных элементов, запоминались в соответствующих массивах. Далее диэлектрические конечные элементы заменялись на пьезоэлектрические со свойствами однородно поляризованной пьезокерамики. Затем для каждого элемента задавались элементные системы координат, повернутые относительно исходной декартовой системы координат так, чтобы одна из осей была параллельной направлению найденного ранее вектора поляризации. Такая техника обуславливала преобразование матриц материальных модулей пьезокерамики для каждого конечного элемента по законам преобразования соответствующих тензоров при поворотах элементных систем координат. В результате были получены конечно-элементные сетки с неоднородными пьезоэлектрическими свойствами, учитывающие различные направления отдельных стержней пенообразной структуры.

На следующем этапе решались задачи гомогенизации метода эффективных модулей механики композитов. Здесь для определения полного набора эффективных модулей жесткости, пьезомодулей и модулей диэлектрических проницаемостей в наиболее общем случае трехмерных пенообразных решеток требовалось решить девять статических краевых задач линейной теории пьезоэлектричества со специальными граничными условиями [2]. Три задачи соответствовали растяжениям вдоль трех направлений, следующие три задачи соответствовали трем сдвиговым механическим деформациям, а в трех других задачах задавались электрические потенциалы, определяющие электрические поля преимущественно в трех различных направлениях.

Для модельных примеров рассматриваемых пьезокерамических пенообразных материалов были проведены серии вычислительных экспериментов и дан анализ зависимостей эффективных модулей от пористости. Отмечено, что для нерегулярных решеток появляется дополнительная анизотропия эффективных материальных свойств, вызванная несимметричностью геометрий представительных объемов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-31-90057 и гранта Правительства РФ № 075-15-2019-1928.

1. T.E. Gerasimenko, et al. In: *Wave Dynamics, Mechanics and Physics of Microstructured Metamaterials. Advanced Structured Materials*, M.A. Sumbatyan (Ed.) Springer **109**, 113 (2019).
2. A.V. Nasedkin, M.S. Shevtsova. In: *Ferroelectrics and superconductors: Properties and applications*. I.A. Parinov (Ed.) Nova Science Publishers, N.-Y., 231 (2011).